

중증외상환자의 전산화단층촬영 및 중재술에 의한 방사선 유효선량 및 생애 귀속위험도

연세대학교 의과대학 응급의학교실, ¹연세대학교 의과대학 외과학교실

이원호, 공태영, 김승환, 유제성, 박유석, 이재길¹, 정성필

- Abstract -

Effective Radiologic Doses and Lifetime Attributable Risks in Patients with Trauma Critical Pathway Activation

Wonhyo Lee, M.D., Taeyoung Kong, M.D., Seunghwan Kim, M.D., Je Sung You, M.D.,
Yoo Seok Park, M.D., Jae Gil Lee, M.D.¹, Sung Phil Chung, M.D.

Department of Emergency Medicine, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

¹Division of Surgical Critical Care & Trauma, Department of Surgery, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Purpose: This study was performed to calculate and analyze the effective radiation doses from computed tomography (CT) and radiologic intervention in patients in the emergency department (ED) with trauma critical pathway (CP) activation and further to estimate the lifetime attributable risks (LARs) for the incidence of and mortality from cancers induced by the radiation dose.

Methods: Through a retrospective electrical chart review of 104 injured patients who trauma critical pathway were activated from November 2012 to March 2013, we calculated effective radiologic doses by taking the product of the dose-linear product of the scan and the conversion coefficient. After a determination of the image results, we divided the patients into two groups, negative or positive, and calculated the effective dose for each group. With these results, we estimated the LARs for the incidence of and the mortality from cancers by using the table in the Biologic Effects of Ionizing Radiation (BEIR)-VII report.

Results: A total of 76 patients were enrolled. The mean age was 49.0 ± 8.5 years. The mean injury severity score (ISS) was 12.7 ± 8.4 . The cumulative effective dose (CED) for individual patients varied from 2.8 mSv to 238.8 mSv, and the mean was 47.6 ± 39.9 mSv. The CED in patients with an $ISS \geq 16$ (63.2 ± 26.6 mSv) was higher than that of patients whose $ISS < 16$ (33.5 ± 23.1 mSv) ($p < 0.001$). The CED in patients who were treated with surgery or intervention (69.0 ± 45.2 mSv) was higher than that of patients who were treated conservatively (33.6 ± 22.4 mSv) ($p < 0.001$). The LARs for cancer incidence and mortality were 328.5 ± 308.6 and 189.0 ± 159.3 per 100,000 people, respectively.

Conclusion: The CED and the LAR for trauma CP-activated patients in the ED were significant, so efforts should be made to decrease the effective dose received by severely injured patients.

Key Words: Multiple trauma, Computed tomography, Radiation dosage, Radiation-induced neoplasm

* Address for Correspondence : Yoo Seok Park, M.D.

Department of Emergency Medicine, Yonsei University College of Medicine,
50 Yonsei-Ro, Seodaemun-Gu, Seoul, Korea

Tel : 82-2-2228-2460, Fax : 82-2-2227-7908, E-mail : pys0905@yuhs.ac

Submitted : August 23, 2013 Revised : August 27, 2013 Accepted : September 9, 2013

I. 서 론

중앙응급의료센터에서 보고한 2012년 응급의료 통계연보에 따르면 전국의 응급의료센터를 이용한 환자 중에서 외상 환자는 1,363,440명으로, 전체 환자의 27.4%를 차지하며, 이 중 중증외상환자는 연간 36,135명으로 전체 외상환자의 26.8%를 차지한다.(1) 2006년도의 같은 보고서를 보면 외상 환자는 634,844명이었으며 이 중 중증외상환자는 16,691명이었다.(2) 이렇듯 외상환자의 발생은 점차 증가 추세에 있으며 또한 중증외상환자의 수도 증가 추세에 있다.

전산화단층촬영(Computed Tomography, CT)은 그 도입 이후 기술적으로 많은 발전이 있었다. 미국의 경우 CT 검사는 1980년에 연간 360만 건이 시행되었으나 1998년에는 3300만 건이 시행되어 가파른 상승 추세를 보이고 있다.(3) CT 검사가 증가하는 주요 요인은 소아의 경우 기술의 발전으로 스캔 시간이 짧아져 수면-진정의 필요성이 줄어든 것이며, 성인에서는 검진 목적으로 이용이 증가한 것으로 앞으로 꾸준히 지속적으로 증가할 것으로 예측된다.(4) 중증외상환자에서는 빠른 진단과 정확한 치료를 위해 여러 신체부위의 CT를 동시에 촬영하는 것이 일반화 되었고, 구미 각국의 경우에는 전신 CT (Whole body CT 또는 Pan-scan)가 빈번하게 사용되고 있다.(5)

CT 검사는 일반 x-선 검사보다 방사선 조사량이 월등히 커서 외상환자의 진단적 영상검사에 의한 조사량의 대부분을 차지하고 있다.(6) 또한 중재적 영상의학(interventional radiology)이 발전함에 따라 중재술이 수술을 대체하는 경우가 증가하게 되었으며, 경우에 따라서는 더 우수한 성적을 보여줌에 따라 중재적 시술에 의한 방사선 조사량도 점차 증가하고 있다.(7) 방사선 조사는 암 발생과 인과관계가 있으며,(8) 젊은 사람에게 더 크게 영향을 준다.(9) 외상이 젊고 건강한 사람에서 많이 발생한다는 점을 고려해보면 이와 같은 문제는 더 심각하다고 할 수 있다.(3) Winslow 등(10)은

둔상으로 내원한 외상환자에서 초기 24시간 동안 40.2 mSv의 누적유효선량(Cumulative Effective Dose, CED)을 보고하였으며, Sharma 등(6)은 손상정도계수(injury severity scale, ISS) 15~25점의 환자들을 대상으로 6년간 선량의 추이를 조사한 결과 23.3 mSv까지 지속적으로 상승하였다고 보고하였다. 중증외상환자의 경우 Kim 등(11)은 외과 중환자실에 입원한 환자들을 대상으로 한 연구에서 총 재원기간 동안의 누적유효선량이 106 mSv라고 보고하였다. Tien 등(12)은 선량계(dosimeter)를 이용한 Level I 외상센터 외상환자의 전향적 연구에서 22.7 mSv의 누적유효선량을 보고하였으며 이 유효선량을 바탕으로 미국 국립방사선방호학회(National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP) 보고서 115의 모델을 이용하여 모든 암은 10만명 당 190명, 갑상선암 4.4명, 여성의 경우 유방암 41.4명, 백혈병 13.3명의 추가적 암 사망률의 생애 귀속위험도(lifetime attributable risk, LAR)를 보고하였다. 국내에서는 송 등(13)이 중증외상환자의 초기 24시간 누적유효선량이 68.8 mSv라고 보고하였으나, 아직까지 이로 인한 암 발생 및 사망의 생애 귀속위험도를 보고한 적은 없다. 따라서 저자들은 이번 연구를 통해 응급의료센터에 내원한 중증외상환자의 CT 검사 및 중재술에 의한 누적유효선량을 조사하고, 이를 바탕으로 암 발생 및 사망의 생애 귀속위험도를 알아보고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 연구 대상

2012년 11월부터 2013년 3월까지 서울지역의 대학병원 응급의료센터에 내원한 외상환자들 중 외상환자 진료지침(Trauma CP, Critical Pathway)이 활성화되었던 만 18세 이상 성인 환자를 대상으로 하였다. 외상환자 진료지침의 활

Table 1. Alerting criteria for the trauma Critical Pathway

Mechanism
Any motor vehicle at high speed (>60 km/h)
Ejection or rollover or death of vehicle occupants
Pedestrian struck by moving vehicle
Bicycle accident >20 km/h impact
Fall >3 m
Motorcycle accident with separation from vehicle
Crushing injury in head, neck, chest, abdomen and pelvis
Clinical suspicion
Flail chest, Penetrating Torso injury, Definite hemo/pneumothorax
Open skull fracture, Limb paralysis (spinal cord injury)
Pelvic bone fracture, Amputation wrist/ankle, Upper elbow& knee Penetrating injury
Penetrating head & neck injury

성화 기준은 Table 1과 같다. 이는 조기 중증응급환자의 선별을 목표로 기전 및 임상적 판단에 따라 응급의학과 의사에 의해 활성화되며, 환자는 전문외상처치술(Advanced Trauma Life support, ATLS) 가이드라인에 따라 초기 안정화 및 진단이 시행되었다. CT는 환자를 진료한 의사의 임상적 판단에 의해 손상 부위별로 부분적으로(segmental scan) 시행되었다.

2. 수집 정보

의무기록을 이용하여 한 명의 연구자(LW)가 환자의 나이, 성별, 손상 기전, 손상정도계수(injury severity score, ISS), 개정외상계수(revised trauma score, RTS), 수술 또는 중재술 시행 여부, 시행한 CT 및 중재술의 부위, 횡수 및 방사선 조사량을 후향적으로 조사하였다. CT 및 중재술의 결과는 영상의학과 전문의의 판독을 바탕으로 양성 또는 음성으로 해석하였다. 이중 뼈의 골절(fracture), 내부 장기의 출혈(bleeding, hemorrhage, extravasation), 파열(rupture), 절단(amputation), 좌상(contusion) 등을 양성으로 판정하였다. 손상정도계수는 의무기록 및 의료영상저장전송시스템(PACS) 결과를 이용하여 약식손상척도(Abbreviated Injury Score, AIS)를 구하여 계산하였다.(14-18) 개정외상계수는 응급의료센터 내원 후 최초 글라우고우 코마 계수(GCS, Glasgow Coma Scale), 수축기 혈압 및 호흡수를 바탕으로 계산하였다.(19)

3. 유효선량의 측정

대상 환자에게 응급의료센터 및 입원 기간에 시행된 모든 CT 및 중재술에 사용된 방사선 조사량을 조사하였다. 사용된 CT 장비는 Siemens Somatom Sensation 64 slice scanner (Siemens AG, Muenchen, Germany), Siemens Somatom Definition Flash 128 slice scanner (Siemens AG, Muenchen, Germany)와 General Electric Light speed VCT XT 64 slice scanner (Fairfield, CT, USA)였다. Intervention 장비는 Siemens Axiom Artis (Siemens AG, Muenchen, Germany)를 사용하였다. 방사선 조사량은 각 장비에서 측정되는데, 검사완료 후 CT console에 표시되는 CT 선량지수(Computed Tomography Dose Index, CTDI)의 스캔 길이에 대한 적분값인 선량길이곱(Dose Linear Product, DLP) 값을 측정하고 여기에 국제방사선방호위원회(International Commission on Radiological Protection, ICRP)에서 권고하는 변환계수를 곱하여 유효선량(effective dose, mSv)을 계산하였다.(20) ICRP 간행물 102에 나와있는 성인의 변환계수는 두부가 0.0021, 경부가 0.0059, 흉부가 0.014, 복

부-골반이 0.015, 몸통이 0.015이다. 위와 같은 방법으로 계산된 유효선량은 방사선량 관리 프로그램을 통해 자동으로 환자의 의무기록에 기록되어 조회할 수 있다. 누적유효선량(cumulative effective dose, CED)은 환자 별로 시행된 CT 검사 및 중재술의 유효선량 합으로 계산하였다.

4. 암 발생 및 사망의 생애 귀속위험도

2006년 미국 과학아카데미에서 발행한 이온화 방사선의 생물학적 영향(BEIR: Biologic Effects of Ionizing Radiation)에 대한 7차 연구보고서(BEIR-VII)에 따르면 저선량(0~100 mSv) 방사선 조사와 고형암으로의 발진 사이에는 선형적인 선량-반응 관계가 있으며, 100 mSv의 방사선 조사에 인한 암의 발생 및 사망의 생애 귀속위험도(lifetime attributable risk, LAR)는 성별 및 연령에 따라 표로 제시되었다.(21) 이 표를 근거로 이번 연구에서 조사한 누적유효선량 및 성별, 연령을 이용하여 각 각의 환자에 대한 생애 귀속위험도를 구하였다. 예를 들어 45 mSv의 누적유효선량에 노출된 환자의 성별, 연령에 해당하는 10만명 당 귀속 위험도를 표에서 찾아 100 mSv에 대한 비율($45/100=0.45$)을 곱하여 생애 귀속위험도를 계산하였다. 환자에게 시행된 전체 검사의 누적유효선량에 의한 위험도 및 양성, 음성 결과를 보여준 검사 각각의 누적유효선량에 의한 위험도를 계산하였다.

5. 통계방법

수집한 자료의 분석은 SPSS® Statistics 20(IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하였다. 자료는 범주형 변수는 건(%)으로, 연속형 변수는 평균±표준편차로 제시하였다. 두 군간의 차이는 독립 t-검정을 이용하여 분석하였다. 각각의 결과는 p 값이 0.05 미만인 경우를 통계적으로 유의하다고 판단하였다.

II. 결 과

1. 일반적 특성

연구 기간 동안 응급의료센터에 내원한 외상환자 중 외상 환자 진료지침이 활성화된 환자는 총 104명이었다. 이 중 18세 미만 환자 3명, 외부에서 CT를 촬영하고 전원된 경우 15명, CT와 중재술 모두 시행하지 못하고 사망한 환자 2명, 의무기록에 유효선량이 누락된 4명, 연구 진행 당시 입원 중이어서 최종 유효선량을 알 수 없는 4명을 제외한 76명을 대상으로 연구를 진행하였다(Fig. 1).

대상 환자의 평균 나이는 49.0 ± 8.5 세였으며 남자가 53명

(69.7%)이었다. 평균 RTS는 7.1 ± 1.5 였고, 평균 ISS는 12.7 ± 8.4 였다. ISS가 15점 이하인 환자는 51명(67.1%)이었다. 손상 기전은 교통사고가 44명(57.9%)으로 가장 많았으며, 낙상이 20명(26.3%)이었다(Table 2).

2. CT 및 중재술 건수

대상 환자에게 시행된 CT 및 중재술의 총 건수는 356건이었으며, 1인당 평균 4.7 ± 3.1 건의 검사가 시행되었다. 이 중 CT가 343건(96.3%)으로 1인당 4.5 ± 2.8 건의 CT가 시행되었다. 응급의료센터에서 시행된 CT는 환자 1인당 3.6 ± 1.6 건이었으며, 입원 후 시행된 건수는 0.9 ± 2.2 건이었다. 부위별로는 뇌 CT가 107건(30.1%)으로 가장 많았으며, 그 다음으로 복부-골반 CT가 77건 시행되었다(Table 3). 환자별 시행된 CT의 빈도는 복부-골반 CT가 75%의 환자에서

시행되었으며, 뇌 CT는 71.1%의 환자에서 시행되었다. CT 및 중재술에서 양성 결과가 나온 경우는 213건(59.8%)이었으며, 사지 및 기타 CT가 96.0%로 가장 높은 양성 결과를 보였으며, 경추 CT는 18.9%의 가장 낮은 양성 결과를 보였다(Table 4). 각각의 검사에서 나온 양성 결과는 Table 5와 같았다.

3. 유효선량

환자 별 평균 누적유효선량은 47.6 ± 39.9 mSv였으며, 최소 2.8 mSv부터 최대 238.8 mSv였다. 이 중 응급의료센터

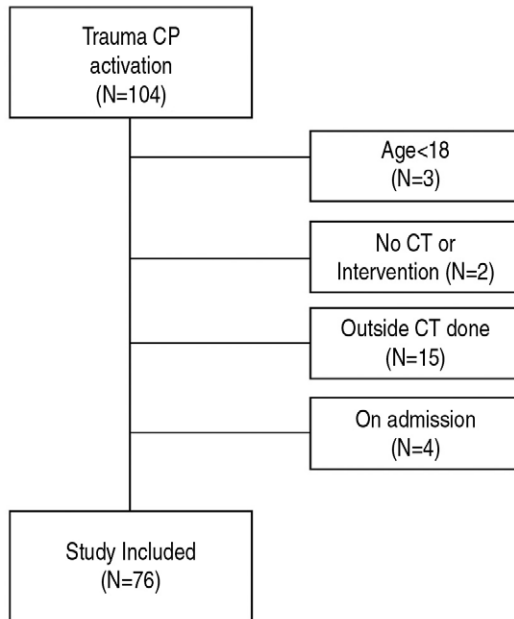


Fig. 1. Flow chart

Table 2. Baseline characteristics

Age, mean \pm SD*	49.0 \pm 8.5
Gender, n (%)	
Male	53 (69.7)
Female	23 (30.3)
Hospital stay, days (mean \pm SD)	9.7 \pm 16.3
Mechanism, n (%)	
Motor vehicle accident	44 (57.9)
Pedestrian	24 (31.6)
Motorcycle	3 (3.9)
Driver	9 (11.8)
Passenger	5 (6.6)
Bicycle	3 (3.9)
Falling	20 (26.3)
Stab wound	9 (11.8)
Others	3 (3.9)
RTS [†] , mean \pm SD	7.1 \pm 1.5
ISS [‡] , mean \pm SD	12.7 \pm 8.4
ISS \leq 15 n (%)	51 (67.1)
mean \pm SD	9.7 \pm 6.7
ISS \geq 16 n (%)	25 (32.9)
mean \pm SD	18.8 \pm 8.4

* SD: standard deviation

[†] RTS: Revised Trauma Score

[‡] ISS: Injury Severity Score

Table 3. Numbers of Radiologic studies

Study Category	Numbers	Numbers per patient (mean \pm SD)	Patients done n (%)
CT			
Brain/Temporal	107	1.4 \pm 1.7	54 (71.1)
C-spine/Neck	53	0.7 \pm 0.5	53 (69.7)
Facial/Orbital	29	0.4 \pm 0.5	27 (35.3)
Chest/Aorta	52	0.7 \pm 0.6	48 (63.2)
Abdomen-Pelvis	77	1.0 \pm 0.8	57 (75.0)
Extremity/Others	25	0.3 \pm 0.7	24 (31.6)
Intervention	13	0.2 \pm 0.5	10 (13.2)

* SD: Standard deviation

Table 4. Effective radiation doses during emergency department (ED) stay and total hospital stay

Study Category	During ED stay				
	n (%)	Total Total dose (mSv)	Mean dose (mSv)	Negative Result n (%)	Positive Result n (%)
Computed tomography (CT)					
Brain/Temporal	68 (24.2)	106.5	1.6 ± 0.2	41 (60.3)	27 (39.7)
C-spine/Neck	52 (18.5)	96.8	1.9 ± 0.8	43 (82.7)	9 (17.3)
Facial/Orbital	27 (9.6)	54.6	2.0 ± 0.1	12 (44.4)	15 (55.6)
Chest/Aorta	47 (16.7)	433.4	9.2 ± 4.8	15 (31.9)	32 (68.1)
Abdomen-Pelvis	63 (22.4)	1991.5	31.6 ± 12.2	19 (30.2)	44 (69.8)
Extremity/Others	19 (6.8)	200.8	10.6 ± 11.7	1 (5.3)	18 (94.7)
CT subtotal	276 (98.2)	2883.5	10.4 ± 13.8	131 (47.5)	145 (52.5)
Intervention	5 (1.8)	100.1	20.0 ± 15.1	2 (40.0)	3 (60.0)
Total	281 (100)	2983.6	10.6 ± 13.9	133 (47.3)	148 (52.7)
					2047.4
Study Category	During Total Hospital Stay				
	n (%)	Total Total dose (mSv)	Mean dose (mSv)	Negative Result n (%)	Positive Result n (%)
Computed tomography (CT)					
Brain/Temporal	107 (30.1)	178.5	1.7 ± 0.5	44 (41.1)	63 (58.9)
C-spine/Neck	53 (14.9)	106.9	2.0 ± 1.4	43 (81.1)	10 (18.9)
Facial/Orbital	29 (8.1)	57.3	2.0 ± 0.3	13 (44.8)	16 (55.2)
Chest/Aorta	52 (14.6)	471.7	9.1 ± 4.7	15 (28.8)	37 (71.2)
Abdomen-Pelvis	77 (21.6)	2203.2	28.6 ± 13.3	23 (29.9)	54 (70.1)
Extremity/Others	25 (7.0)	268.7	10.7 ± 12.7	1 (4.0)	24 (96)
CT subtotal	343 (96.3)	3286.4	9.6 ± 13.0	139 (40.5)	204 (59.5)
Intervention	13 (3.7)	329.9	25.4 ± 40.8	4 (30.8)	9 (69.2)
Total	356 (100.0)	3616.3	10.2 ± 15.1	143 (40.2)	213 (59.8)
					2622.9

Table 5. Positive findings of radiologic studies

Findings	n (%)
Brain/Temporal bone: 107	
Subarachnoid hemorrhage	31 (29.0)
Subdural hemorrhage	28 (26.2)
Intracerebral hemorrhage	23 (21.5)
Epidural hemorrhage	5 (4.7)
Skull fracture	27 (25.2)
Facial fracture	10 (9.3)
Pneumocephalus	1 (0.9)
C-spine/Neck : 53	
Spine/rib fracture	5 (9.4)
Brain lesion/others	3 (5.7)
Other spine lesions	2 (3.8)
Facial/Orbital : 29	
Facial/Orbital fracture	13 (44.8)
Skull Fracture	5 (17.2)
Brain hemorrhage	4 (13.8)
Chest/Aorta : 52	
Bony fracture	26 (50.0)
Pneumothorax	10 (19.2)
Hemothorax	12 (23.1)
Lung contusion	6 (11.5)
Lung/thorax laceration	2 (3.8)
Pneumomediastinum	2 (3.8)
Others	2 (3.8)
Abdomen-Pelvis : 77	
Liver/Spleen/Renal injury, hemoperitoneum	25 (32.5)
Pelvic bone fracture	25 (32.5)
Spine fracture	13 (16.9)
Other fracture	5 (6.5)
Others	5 (6.5)
Bowel/Peritoneal injury	3 (3.9)
Extremity/Others : 25	
Lower Extremity fracture	12 (48.0)
Upper Extremity fracture	6 (24.0)
Spine fracture	2 (8.0)
Others	4 (16.0)
Radiologic intervention : 13	
Intraabdominal/pelvic bleeding	6 (46.2)
Intracranial bleeding	3 (15.4)

에서 시행한 검사의 누적유효선량은 37.9 ± 22.3 mSv로 전체 누적유효선량의 79.7%에 해당하였다. ISS 15점 이하 환자의 누적유효선량은 평균 33.5 ± 23.1 mSv였고, ISS 16점 이상인 환자는 63.2 ± 26.6 mSv로 중증 환자들의 누적유효선량이 더 높았다($p < 0.001$). 수술 또는 중재술을 시행 받은 환자의 누적유효선량은 평균 69.0 ± 45.2 mSv으로 시행 받지 않은 환자의 누적유효선량 33.6 ± 22.4 mSv보다 높았다($p < 0.001$). 부위별 평균 유효선량은 뇌 CT가 1.7 ± 0.5 mSv로 가장 적었으며, 복부-골반 CT가 28.6 ± 13.3 mSv로 가장 많았다(Table 4). 환자 별 양성 결과를 보인 검사의 평균 누적유효선량은 34.5 ± 35.9 mSv였으며, 반면에 음성 결과를 보인 검사의 평균 누적유효선량은 13.1 ± 13.7 mSv였다.

4. 암 발생 및 사망의 생애 귀속위험도

전술한 BEIR-VII 보고서에서 제시한 방법으로 계산한 암 발생 생애 귀속위험도는 10만명 당 328.5 ± 308.6 명이었으며, 최소 8명에서 최대 1,852명이었다. 또한 암 사망 생애 귀속위험도는 10만명 당 189.0 ± 159.3 명이었으며 최대 820명이었다. 이 중 음성 결과를 나타낸 검사의 유효선량에 의한 암 발생 및 사망 귀속위험도는 각각 10만명 당 95.6 ± 132.2 명 및 54.0 ± 72.0 명이었으며, 양성 결과를 나타낸 검사의 유효선량에 의한 암 발생 및 사망의 귀속 위험도는 각각 10만명 당 233.0 ± 289.6 명, 135.1 ± 151.9 명이었다(Table 6).

IV. 고 찰

외상환자의 빠른 수술 또는 중재술의 시행은 환자 예후에 결정적인 영향을 미친다. Clarke 등(22)은 복부 둔상 환자에 대한 한 연구에서 결정적 치료가 3분 지연될 때 마다 사망률이 1%씩 증가한다는 결과를 보고하였다. 이렇게 외상환자에서 빠른 진단과 치료의 중요성이 강조되면서, CT와 중재술의 중요성이 강조되고 있다. 특히 CT는, 다른 진단도구보다 관찰자 간, 관찰자 내 동의 수준이 높은 객관적인 검사로 외상환자의 진단에 있어서 표준이 되어왔다.(23) 하지만 CT와 중재술 등의 검사는 여러 단점을 가지고 있는데, 이는 검사에 고비용이 들고, 불안정한 환자의 이동으로 인한 생체 징후의 악화 및 2차 손상 가능성이 상존하며,(24) 또한 상당한 수준의 방사선 조사가 이루어진다는 사실이다. 방사선 조사

Table 6. Life time attributable risk* of cancer incidence and mortality

Total Cancer incidence	Cancer incidence of negative study	Cancer incidence of positive study
328.5 ± 308.6	95.6 ± 132.2	233.0 ± 289.6
Total Cancer mortality	Cancer mortality of negative study	Cancer mortality of positive study
189.0 ± 159.3	54.0 ± 72.0	135.1 ± 151.9

* Incidence/mortality of all cancer per 100,000 population

는 자유 라디칼 생성, 데옥시리보핵산(deoxyribonucleic acid, DNA)과의 직접적인 상호작용에 의해 DNA에 손상을 줄 수 있고, 부적절하게 복원된 손상은 암을 유발할 수 있다고 알려져 있다.(25) Brenner와 Hall(4)에 따르면 미국에서 발생하는 암의 약 2%는 CT 검사에 의한 방사선 조사에 의해 발생하며, BEIR의 7차 보고서에 의하면 100 mSv의 유효선량으로 10만명 당 약 800명에서 추가적으로 암이 발생한다고 보고하고 있다.(21) Sharma 등(6)은 ISS 15에서 25사이의 외상환자에 대한 연구에서 2000년 16.0 mSv에서 2006년 23.3 mSv의 유효선량 상승을 보고하였는데 6년 동안 CT 촬영 건수는 환자당 2.2회에서 3.5회로 증가했다고 하였다. 이처럼 방사선 조사, 특히 CT에 의한 조사량 증가에 대한 우려는 세계 여러 연구자들의 관심사가 되었고, 국내에서도 근래에 송 등(13)은 평균 ISS 22.9의 중증외상환자 33명에 대한 연구에서 평균 3.6회의 CT 촬영 건수에 68.8 mSv의 평균 누적유효선량을 보고하였으며, BEIR의 7차 보고서에서 언급된 100 mSv의 방사선에 노출된 10만명 당 800건의 부가적 암이 발생한다는 내용을 근거로, 10만명 당 551건의 암이 추가로 발생 가능하다고 하였다. 그러나, 이는 연령 분포가 다른 두 집단을 일괄적으로 비교하여 계산한 것으로, 연령별로 암 발생률이 크게 차이가 난다는 점을 감안하면 그 정확도에 의문이 제기된다. 이번 연구에서는 국내에서 최초로 응급의료센터에 내원한 환자의 누적유효선량을 조사하여 이를 이용하여 각 환자의 생애 귀속위험도를 계산한 것에 의의가 있다고 하겠다.

방사선 영상검사의 선량에 해당하는 100 mSv 이하의 저선량에서 방사선 조사의 유해성이 점차 알려지면서, 방사선 조사량을 줄이기 위한 노력이 다각적으로 이루어지고 있다. 여기에는 반복적 검사의 지양, 검사 자체의 선량을 줄이는 기술의 개발, 자기공명영상이나 초음파 등 비-방사선 검사 검사들로의 대체, CT 스캔 시 튜브 전류, 슬라이스 간격 등의 스캔 지표의 조절,(13) 그리고 영상검사 이외의 임상 진찰에 대한 의존도를 높이는 것이다.(10) 다시 말해 임상결정법칙의 적용을 통해 영상검사를 줄이는 것으로 Smits 등(26)은 두부 경상 환자에게 캐나다 두부 CT 법칙을 적용했을 때 37%의 CT 검사 건수 감소를 보고하였고, Kerr 등(27)은 캐나다 경추 법칙 적용을 통해 영상 검사 건수를 25% 줄일 수 있음을 보고하였다. 이번 연구에서 가장 많이 시행된 검사가 두부 CT, 그 다음이 경추 CT이었다는 점, 그리고 두부 및 경추 CT의 음성 결과율이 각각 41.1% 및 81.1%에 달한다는 점을 감안할 때, 이들 검사에 대한 주의 깊은 처방이 필요하다고 하겠다. 이번 연구에서 조사한 것처럼 영상검사의 음성/양성 비율을 조사하여 음성 비율이 주로 어느 검사에서 발생하는지 분석하여, 신체 검사를 더 면밀히 하고, 초음파 등 비-방사선 검사를 이용한다면 불필요한 검사를 줄여 방사선 검사의 양성 예측도를 향상시킬 수 있을 것이다. 이번 연구에서

음성 결과를 보인 검사에 의해 발생하는 추가적인 암이 10만명 당 95.6 ± 132.2 명으로 조사되었으며, 따라서 앞으로 이들 검사를 줄이는 노력이 필요할 것으로 생각된다. 또한 음성 결과 중 유효선량이 가장 높은 검사는 복부-골반 CT(총 648.6 mSv)이었으며, 그 다음으로는 흉부 CT(총 128.70 mSv)였다. 전체 선량에 크게 영향을 미치는 이러한 복부-골반, 흉부 등 비교적 선량이 높은 검사의 세심한 처방이 필요함을 보여주는 결과라고 볼 수 있다.

이번 연구에서 측정된 환자당 평균 누적유효선량(47.6 mSv)은 2006년 미국에서 조사한 평균 의료 관련 방사선 조사량(3.00 mSv)에 비해 월등히 높으며,(28) 미국의 한 중증 외상센터에서 ISS 15에서 25까지의 외상환자를 대상으로 한 연구 결과(23.3 mSv)보다도 높은데,(6) 특히 이번 연구 대상 환자의 평균 ISS가 12.7임을 감안하면 더욱 그러하다. 이는 외상환자 진료지침이 손상 기전에 따라서 활성화 되는 경우, 과대평가(overestimation)되는 경우가 발생하며, 이로 인해 다수의 CT가 시행되는 것이 하나의 원인이라고 생각된다. 따라서 신체 검사 및 생체 징후를 포함하는 새로운 CP 활성화 기준을 도입하면 시행되는 CT의 수를 줄일 수 있을 것이다. 또한 연구 시행 기관에서는 중증외상환자에게 손상부위별로 다수의 부분적 CT (conventional segmental scan)를 시행하였다. 기존의 연구에서 전신 CT (Whole body CT)의 유효선량인 14.0~22.7 mSv와 비교하면 부분적 CT에 의한 누적유효선량이 상대적으로 높은 것을 알 수 있다.(5) Ptak 등도 위에서 언급한 두 방법으로 시행한 영상검사에 의한 유효선량을 비교한 연구에서 전신 CT를 이용할 경우 부분적 CT에 비해 17%의 유효선량 감소를 보고하였다.(29) 따라서, 다발성 손상으로 중증도가 높거나 다수의 CT 촬영이 예상되는 경우에 전신 CT protocol의 적용이 유효선량을 줄이는 한 가지 방법이 될 수 있다. 이번 연구에서 환자의 재원기간 동안 전체누적유효선량 중 응급의료센터에서의 선량이 79.7%를 차지하므로, 향후 위와 같은 방법으로 초기 평가에서 방사선 조사량을 줄일 필요가 있을 것으로 사료된다. 또한 CT 및 중재술을 이용한 조기 진단 및 치료에 의한 이익과 과도한 방사선 조사로 인한 불이익간의 균형을 맞추는 것은 외상 환자의 진단 및 치료에서 있어 중요한 문제로,(5) 의료진은 이 두 가지를 고려하여 최대의 이득을 이끌어 낼 수 있도록 적절한 환자에게 적시에 CT 및 중재술을 시행하여야 한다.

이번 연구에는 몇 가지 제한점이 있다. 첫째 이번 연구는 한 개의 의료기관에서 진행된 연구로 CP의 기준과, 진료 방식이 다른 기관에서의 결과와는 다르게 나타날 수 있다. 추후 다 기관 연구를 통한 조사가 필요할 것으로 생각된다. 둘째, 후향적 연구에서 보일 수 있는 데이터의 누락이다. 이번 연구에서 x-선의 유효선량은 누락된 데이터가 많아서 연구 결과에 포함시키지 못하였다. 이동형 x-선 검사의 유효선량

이 모두 누락되었으며, 이외에 사지 x-선 검사의 유효선량도 다수 누락되었다. 이로 인해 x-선에 의한 유효선량은 연구에 반영되지 못했다. 다만, 누락된 선량을 일부 측정된 검사의 선량 평균값으로 치환하여 계산해 보면, 기존 연구들(6,10)과 같이 x-선에 의한 유효선량은 전체 선량에서 적은 부분을 차지하였다. 셋째, 이번 연구에서 계산한 유효선량은 직접 선량계로 측정된 것이 아닌 추정치이며, LAR도 직접 조사하여 계산한 것이 아닌 모델에 의한 추정치라는 한계가 있다.

V. 결 론

응급의료센터에서 외상진료지침이 활성화된 중증외상환자의 방사선 유효선량은 47.6 ± 39.9 mSv였으며 이를 바탕으로 추정된 암 발생 및 사망의 생애 귀속 위험도는 각각 10만 명 당 328.5 ± 308.6 명 및 189.0 ± 159.3 명으로, 앞으로 중증외상환자에게 노출되는 유효선량을 줄이려는 적극적인 노력이 필요할 것으로 생각된다.

REFERENCES

- 1) 2012 Statistical Yearbook of Emergency Medicine. Seoul: National Emergency Medical Center, 2013.
- 2) 2006 Statistical Yearbook of Emergency Medicine. Seoul: National Emergency Medical Center, 2007.
- 3) Nickoloff EL, Alderson PO. Radiation exposures to patients from CT: reality, public perception, and policy. *AJR Am J Roentgenol* 2001; 177: 285-7.
- 4) Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography--an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med* 2007; 357: 2277-84.
- 5) Harvey JJ, West AT. The right scan, for the right patient, at the right time: The reorganization of major trauma service provision in England and its implications for radiologists. *Clin Radiol* 2013; 68: 871-86.
- 6) Sharma OP, Oswanski MF, Sidhu R, Krugh K, Culler AS, Stombaugh HA, et al. Radiation trends in trauma patients. *Am Surg* 2011; 77: 193-7.
- 7) Gould JE, Vedantham S. The role of interventional radiology in trauma. *Semin Intervent Radiol* 2006; 23: 270-8.
- 8) Shimizu Y, Schull WJ, Kato H. Cancer risk among atomic bomb survivors. The RERF Life Span Study. *Radiation Effects Research Foundation. JAMA* 1990; 264: 601-4.
- 9) Brenner DJ. Estimating cancer risks from pediatric CT: going from the qualitative to the quantitative. *Pediatr Radiol* 2002; 32: 228-3; discussion 42-4.
- 10) Winslow JE, Hinshaw JW, Hughes MJ, Williams RC, Bozeman WP. Quantitative assessment of diagnostic radiation doses in adult blunt trauma patients. *Ann Emerg Med* 2008; 52: 93-7.
- 11) Kim PK, Gracias VH, Maidment AD, O'Shea M, Reilly PM, Schwab CW. Cumulative radiation dose caused by radiologic studies in critically ill trauma patients. *J Trauma* 2004; 57: 510-4.
- 12) Tien HC, Tremblay LN, Rizoli SB, Gelberg J, Spencer F, Caldwell C, et al. Radiation exposure from diagnostic imaging in severely injured trauma patients. *J Trauma* 2007; 62: 151-6.
- 13) Song JH, Kim SH, Jung SE, Oh SH, Jeong WJ, Kim HJ, et al. Quantitative Assessment of Radiation Doses from Computed Tomography of Patients in the Emergency Department Following Trauma Team Activation. *J Korean Soc Emerg Med* 2010; 21: 763-9.
- 14) Moore EE, Shackford SR, Pachter HL, McAninch JW, Browner BD, Champion HR, et al. Organ injury scaling: spleen, liver, and kidney. *J Trauma* 1989; 29: 1664-6.
- 15) Moore EE, Cogbill TH, Malangoni MA, Jurkovich GJ, Champion HR, Gennarelli TA, et al. Organ injury scaling. II: Pancreas, duodenum, small bowel, colon, and rectum. *J Trauma* 1990; 30: 1427-9.
- 16) Moore EE, Cogbill TH, Jurkovich GJ, McAninch JW, Champion HR, Gennarelli TA, et al. Organ injury scaling. III: Chest wall, abdominal vascular, ureter, bladder, and urethra. *J Trauma* 1992; 33: 337-9.
- 17) Moore EE, Malangoni MA, Cogbill TH, Shackford SR, Champion HR, Jurkovich GJ, et al. Organ injury scaling. IV: Thoracic vascular, lung, cardiac, and diaphragm. *J Trauma* 1994; 36: 299-300.
- 18) Moore EE, Cogbill TH, Jurkovich GJ, Shackford SR, Malangoni MA, Champion HR. Organ injury scaling: spleen and liver (1994 revision). *J Trauma* 1995; 38: 323-4.
- 19) Champion HR, Sacco WJ, Carnazzo AJ, Copes W, Fouty WJ. Trauma score. *Crit Care Med* 1981; 9: 672-6.
- 20) Valentin J. Managing patient dose in multi-detector computed tomography(MDCT). ICRP Publication 102. *Ann ICRP* 2007; 37: 1-79, iii.
- 21) Health Risks From Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, BEIR VII, Phase 2. Washington DC: National Academy Press; 2006.
- 22) Clarke JR, Trooskin SZ, Doshi PJ, Greenwald L, Mode CJ. Time to laparotomy for intra-abdominal bleeding from trauma does affect survival for delays up to 90 minutes. *J Trauma* 2002; 52: 420-5.
- 23) Deunk J, Brink M, Dekker HM, Kool DR, Blickman JG, van Vugt AB, et al. Routine versus selective multidetector-row computed tomography (MDCT) in blunt trauma patients: level of agreement on the influence of additional findings on management. *J Trauma* 2009; 67: 1080-6.
- 24) Gebremichael M, Borg U, Habashi NM, Cottingham C, Cunsolo L, McCunn M, et al. Interhospital transport of the extremely ill patient: the mobile intensive care unit. *Crit Care Med* 2000; 28: 79-85.
- 25) Ron E. Ionizing radiation and cancer risk: evidence from epidemiology. *Pediatr Radiol* 2002; 32: 232-7; discussion 42-4.
- 26) Smits M, Dippel DW, de Haan GG, Dekker HM, Vos PE, Kool DR, et al. External validation of the Canadian CT Head Rule and the New Orleans Criteria for CT scanning in patients with minor head injury. *JAMA* 2005; 294: 1519-25.

- 27) Kerr D, Bradshaw L, Kelly AM. Implementation of the Canadian C-spine rule reduces cervical spine x-ray rate for alert patients with potential neck injury. J Emerg Med 2005; 28: 127-31.
- 28) Mahesh M. NCRP Report Number 160: its significance to medical imaging. J Am Coll Radiol 2009; 6: 890-2.
- 29) Ptak T, Rhea JT, Novelline RA. Radiation dose is reduced with a single-pass whole-body multi-detector row CT trauma protocol compared with a conventional segmented method: initial experience. Radiology 2003; 229: 902-5.